



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 197 35 742 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 02 P 7/52**

②1 Aktenzeichen: 197 35 742.3  
②2 Anmeldetag: 18. 8. 97  
④3 Offenlegungstag: 25. 2. 99

DE 197 35 742 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Weiß, Helmut, Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn., Leoben, AT

⑤6 Entgegenhaltungen:

DE 40 21 008 C2  
DE 23 48 157 A1  
US 48 12 729  
WO 95 34 948 A1

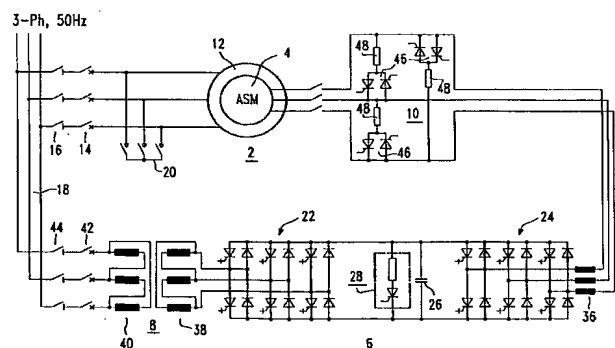
ARSUDIS, VOLLSTEDT: "Sensorlose Regelung einer doppeltespeisten Asynchronmaschine mit geringen Netzurückwirkungen" in Archiv für Elektrotechnik 74 (1990) H.1, S.89-97;  
TANG, XU: "A Flexible Active and Reactive Power Control..." in IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.10, 1995, H.4, S.472-478;  
EDER: "Stromrichter zur Drehzahlsteuerung von Drehfeldmaschinen" Teil 2, S.71-94;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Über- und untersynchrone Stromrichtererkaskade

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf eine über- und untersynchrone Stromrichtererkaskade mit einer Drehstrom-Asynchronmaschine (2) mit Schleifringläufer (4), einem Spannungswellenkreis-Umrichter (6) und einem Umrichter-Transformator (8), wobei dieser Spannungswellenkreis-Umrichter (6) als maschinenseitigen Stromrichter (24) einen selbstgeführten Pulswechselrichter und als netzseitigen Stromrichter (22) einen netzgeführten Umkehrstromrichter aufweist. Erfindungsgemäß ist anstelle des netzgeführten Umkehrstromrichters als netzseitiger Stromrichter (22) ein selbstgeführter Pulswechselrichter vorgesehen. Somit erhält man eine über- und untersynchrone Stromrichtererkaskade, bei der der netzseitige Stromrichter (22) im Wechselrichterbetrieb bei Netzspannungseinbrüchen nicht mehr kippen kann und eine Blindleistungsstützung an der Netzanschlusung möglich ist, wodurch sich die Bau-Leistung des Umrichter-Transformators (8) und die Kupferverluste der Drehstrom-Asynchronmaschine (2) im übererregten Betrieb wesentlich verringern.



DE 197 35 742 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine über- und untersynchrone Stromrichtererkaskade mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Die untersynchrone Stromrichtererkaskade (doppelt gespeiste Asynchronmaschine mit Läuferkreis-Umrichter) ist ein drehzahlveränderbarer Drehstromantrieb, bei dem die Drehzahl eines Drehstrom-Asynchronmotors mit Schleifringläufer durch einen in den Läuferkreis des Motors geschalteten Zwischenkreis-Umrichter nahezu verlustfrei geregelt wird. Die untersynchrone Stromrichtererkaskade ist ein typischer Einquadrantantrieb. Dieser Antrieb unterscheidet sich von anderen drehzahlveränderbaren Antrieben dadurch, daß nur die elektrische Schlupfleistung, die vom Drehzahl-Stellbereich und der Drehfeldleistung des Motors abhängt, über den Umrichter zu führen ist. Daher kann die untersynchrone Stromrichtererkaskade besonders vorteilhaft eingesetzt werden, wenn nur ein kleiner Drehzahlstellbereich, wie z. B. bei Pumpen und Ventilatoren, aber auch Netzkupplungsumformern, verlangt wird.

Gemäß dem Buch "Stromrichter zur Drehzahlsteuerung von Drehfeldmaschinen", Teil 2: Stromrichter zur Schlupfsteuerung, Erich Eder, Seiten 71 bis 94 bzw. der Siemens-Broschüre "Drehzahlveränderbare Antriebe in der Praxis", Bestell-Nr. A19100-E319-A365, März '89, Seiten 46 bis 48, weist eine untersynchrone Stromrichtererkaskade einen Drehstrom-Asynchronmotor mit einem Schleifringläufer, einen Stromzwischenkreis-Umrichter und einen Umrichter-Transformator auf. Der Stromzwischenkreis-Umrichter besteht aus einem Dioden-Gleichrichter, einem netzgeführten Wechselrichter und einer Zwischenkreis-Drossel. Der Umrichter-Transformator verbindet den netzgeführten Wechselrichter wechsellspannungsseitig mit dem Drehstrom-Netz, an dem die Ständerwicklung des Drehstrom-Asynchronmotors angeschlossen ist. Der Dioden-Gleichrichter ist wechsellspannungsseitig mit dem Schleifringläufer verbunden.

In der Fig. 1 ist eine Prinzipschaltung einer bekannten über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade näher dargestellt. Diese über- und untersynchrone Stromrichtererkaskade weist eine Drehstrom-Asynchronmaschine 2 mit einem Schleifringläufer 4, einen Spannungszwischenkreis-Umrichter 6, einen Umrichter-Transformator 8 und einen Läuferkreis-Kurzschließer 10 auf. Die Drehstrom-Asynchronmaschine 2 ist mit seinem Ständer 12 über Lastschalter 14 mit nachgeschalteten Lasttrennern 16 mit einem Netz 18, insbesondere einem Drehstrom-Netz konstanter Amplitude und konstanter Frequenz, elektrisch leitend verbunden. Außerdem kann die Wicklung des Ständers 12 dieser Drehstrom-Asynchronmaschine 2 mit einem Ständer-Kurzschluß-Lasttrenner 20 kurzgeschlossen werden.

Der Spannungszwischenkreis-Umrichter 6 weist einen netz- und maschinenseitigen Stromrichter 22 und 24 auf. Gleichspannungsseitig sind diese beiden Stromrichter 22 und 24 mittels eines Zwischenkreis-Kondensators 26 miteinander gekoppelt. Außerdem ist dem Zwischenkreis-Kondensator 26 ein Kurzschließer 28, bestehend aus einer Reihenschaltung eines Thyristors 30 und eines Widerstandes 32, elektrisch parallel geschaltet. Ferner sind in den Stromschienen des Spannungs-Zwischenkreises jeweils eine Drossel 34 angeordnet, die zusammen mit dem Zwischenkreis-Kondensator 26 ein Filter bildet. Diese Drossel 34 dient auch zur Stromanstiegsbegrenzung im Falle des Kippen des als Wechselrichter betriebenen netzgeführten Stromrichters 22. Als netzseitiger Stromrichter 22 ist ein netzgeführter Umkehrstromrichter vorgesehen. Als maschinenseitiger Stromrichter 24 ist ein selbstgeführter Pulswechselrichter, insbesondere ein GTO-Pulswechselrichter, vorge-

sehen. Dieser selbstgeführte Pulswechselrichter ist wechsellspannungsseitig über Ausgangs-Drosseln 36 mit dem Schleifringläufer 4 der Drehstrom-Asynchronmaschine 2 elektrisch leitend verbunden. Der netzgeführte Umkehrstromrichter ist wechsellspannungsseitig mit den Sekundärwicklungen 38 des Umrichter-Transformators 8 verknüpft. Diese Sekundärwicklungen 38 sind beispielsweise in Dreieck geschaltet. Die Primärwicklung 40 dieses Umrichter-Transformators 8 sind ebenfalls beispielsweise in Dreieck geschaltet. Primärseitig ist dieser Umrichter-Transformator 8 mittels Lastschalter 42 mit nachgeschaltetem Lasttrenner 44 mit dem Netz 18 verknüpft, der die Drehstrom-Asynchronmaschine 2 ständerseitig speist.

Zwischen dem Schleifringläufer 4 und dem maschinenseitigen Stromrichter 24 des Spannungszwischenkreis-Umrichters 6 ist der Läuferkreis-Kurzschließer 10 angeordnet. Dieser Läuferkreis-Kurzschließer 10 weist drei Schalter 46 auf, mit denen der Schleifringläufer 4 kurzgeschlossen werden kann. Jeder Schalter 46 weist zwei Thyristoren auf, die zueinander antiparallel geschaltet sind. Diese Schalter 46 können jeweils auch nur einen Thyristor aufweisen.

In der Fig. 2 ist ein Schaltbild einer über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade eines bekannten rotierenden Netzkupplungsumformers dargestellt. Der Aufbau dieser über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade entspricht dem Aufbau der Prinzipschaltung gemäß Fig. 1. Deshalb weisen dieselben Bauelemente in den Fig. 1 und 2 die gleichen Bezugszeichen auf. Diese Schaltung einer über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade wird bei einem rotierenden Netzkupplungsumformer mit der Bezeichnung "Bahnumformer Harburg" verwendet. In Abhängigkeit der Schlupfleistung weist der netzseitige Stromrichter 22 zwei netzgeführte Umkehrstromrichter auf, die gleichspannungsseitig elektrisch parallel geschaltet sind.

Als Umrichter-Transformator 8 ist ein Transformator mit zwei Sekundärwicklungen 38 und 50 vorgesehen. Von diesen Sekundärwicklungen 38 und 50 ist einer in Dreieck und der andere in Stern geschaltet. Ebenfalls in Abhängigkeit der Schlupfleistung weist der maschinenseitige Stromrichter 24 drei GTO-Pulswechselrichter auf, die elektrisch parallel geschaltet sind.

Bei der über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade wird die Drehzahl der Drehstrom-Asynchronmaschine 2 mit Schleifringläufer 4 mit Hilfe des im Läuferkreis eingesetzten Spannungszwischenkreis-Umrichters 6 nahezu verlustlos geregelt. Soll die Drehstrom-Asynchronmaschine 2 an dem Netz 18 konstanter Spannung und Frequenz betrieben und in seiner Drehzahl geregelt werden, so ist das nur durch Einschalten einer Gegenspannung in den Läuferkreis der Maschine 2 möglich. Diese Spannung wirkt der im Läufer induzierten Läufer Spannung entgegen, deren Größe vom Schlupf, d. h. von der relativen Abweichung der Betriebsdrehzahl von der synchronen Drehzahl, abhängt. Die Amplitude der Läufer Spannung nimmt, ausgehend von ihrem höchsten Wert bei Stillstand, mit steigender Drehzahl linear ab und erreicht den Wert Null bei der synchronen Drehzahl, um im übersynchronen Betrieb wieder proportional zum Schlupf anzusteigen. Die Gegenspannung wird durch den im Gleich- bzw. Wechselrichterbetrieb arbeitenden maschinenseitigen Stromrichter 24 erzeugt. Läufer Spannung und Gleichspannung stehen dabei in einem festen Verhältnis zueinander, das durch den Aussteuergrad der bei der Stromrichtererkaskade üblichen Drehstrom-Brückenschaltung bestimmt ist. Die Frequenz der Gegenspannung, somit die Grundschnwingung der Pulswechselrichter-Ausgangsspannung, ist gleich der Schlupffrequenz. Bei entsprechender, von der Rotorlage abhängiger Phasenlage der Gegenspannung befindet sich die Maschine 2 unabhängig von der

Drehzahl im Leerlauf, es fließt läuferseitig kein Strom. Werden ausgehend vom Leerlaufzustand Amplitude und Phasenlage dieser Gegenspannung in geeigneter Weise verändert, werden die ständerseitige Blind- und Wirkstromaufnahme und somit das Drehmoment an der Maschinenwelle beeinflusst. Es ist über- und untersynchroner Betrieb mit stufenlos einstellbarer Drehzahl in beiden Momentenrichtungen, d. h. Motor- und Generator-(Brems-) Betrieb, möglich.

Die Drehstrom-Asynchronmaschine 2 nimmt bei untersynchronem Motorbetrieb aus dem Netz 18 eine Wirkleistung auf, deren Wert dem an der Motorwelle abgegebenen Drehmoment und der durch die Polpaarzahl und die Netzfrequenz bestimmten synchronen Drehzahl proportional ist. Diese Leistung wird über den Luftspalt auf den Läufer übertragen und teilt sich wie folgt auf: Der der Drehzahl proportionale Teil wird als mechanische Leistung an die Welle abgegeben und der dem Schlupf proportionale Teil wird als elektrische Leistung (Schlupfleistung) an den Schleifringen abgenommen. Diese Schlupfleistung wird durch den Spannungszwischenkreis-Umrichter 6 wieder in das Drehstromnetz 18 zurückgeführt. Der Antrieb nimmt also aus dem Netz 18 nur die an der Welle abgegebene mechanische Leistung auf, erhöht um die Summe der Verlustleistungen.

Wie der Ausführungsform der über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade gemäß Fig. 2 zu entnehmen ist, wird die Schlupfleistung über den netzgeführten Umkehrstromrichter, dem Spannungszwischenkreis und dem GTO-Pulswechselrichter aus Netz 18 entnommen oder zurückgespeist. Über den Umrichter-Transformator 8 (Dd0y11) erfolgt die Spannungsanpassung. Mittels des Spannungszwischenkreis-Umrichters 6 wird der Maschinensatz über die synchrone Drehzahl hinaus hochgefahren und danach durch läuferseitige schlupffrequente Erregung die ständerseitige Synchronisation durchgeführt. Der Hochlauf dieser Drehstrom-Asynchronmaschine 2 erfolgt mittels des Spannungszwischenkreis-Umrichters 6 durch Läuferseisung bei kurzgeschlossener Ständerwicklung. Es wird üblicherweise nur eine begrenzte Läuferseisung (beispielsweise weniger als 10% der Läuferstillstandsspannung) verwendet.

Im Betrieb wird über die Läuferseisung (Amplitude, Phasenlage) die geforderte Gesamtblindleistung des drehzahlveränderbaren Antriebs gesteuert ( $\cos \varphi = 1$  bzw. übererregt). Zur Deckung der Blindleistung der Drehstrom-Asynchronmaschine 2, des netzseitigen Stromrichters 22 und ggf. auch zur Bereitstellung von Blindleistung auf der Netzseite sind hohe Läuferströme erforderlich. Der Betrieb bei Schlupf Null bedingt aufgrund der Läufergleichströme eine Überdimensionierung des maschinenseitigen Stromrichters 24.

Netzspannungseinbrüche ergeben hohe transiente Maschinenströme auch im Läuferkreis, können aber zusätzlich auch das Kippen des netzgeführten Stromrichters im Wechselrichterbetrieb bewirken. Beim Kippvorgang wird der Zwischenkreis-Kondensator 26 im Zwischenkreis auf Null entladen. Der Maschinenstrom muß vollständig vom Läuferkreis-Kurzschließer 10 übernommen werden, so daß der Strom über den gekippten netzseitigen Stromrichter 22 erlischt und danach die Zwischenkreisspannung wieder aufgebaut werden kann. Im Läuferkreis-Kurzschließer 10 können keine Widerstände zur Verringerung der transienten Lastzeitkonstanten der Drehstrom-Asynchronmaschine 2 eingebaut werden. Dadurch erfolgt das Abklingen transienter Maschinenströme langsamer.

Eine Erhöhung der Sekundärspannung des Umrichter-Transformators 8 ergibt nur eine Vergrößerung des zulässigen Netzspannungseinbruchs, der noch kein Kippen des netzgeführten Stromrichters 22 im Wechselrichterbetrieb bewirkt. Es erhöht sich jedoch die Bauleistung des Umrich-

ter-Transformators 8 und die über die Drehstrom-Asynchronmaschine aufzubringende Steuerblindleistung.

Unsymmetrische Netzspannungen führen zu stark unsymmetrischen Strömen im netzseitigen Stromrichter, wenn übliche äquidistante Zündimpulse vorausgesetzt werden.

Der Zwischenkreis-Kurzschließer 28 ist eine Schutzmaßnahme zur Verhinderung von kritischen Überspannungen im Zwischenkreis. Eine Zündung dieses Zwischenkreis-Kurzschließers 28 bewirkt eine Abschaltung der Anlage.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, die bekannte über- und untersynchrone Stromrichtererkaskade derart weiterzubilden, daß die aufgezeigten Probleme nicht mehr auftreten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst mit dem kennzeichnenden Merkmal des Anspruchs 1.

Dadurch, daß anstelle des netzgeführten Umkehrstromrichters ein selbstgeführter Pulswechselrichter vorgesehen ist, kann der netzseitige Stromrichter im Wechselrichterbetrieb nicht mehr kippen. Es sind nun sogar Spannungseinbrüche bezüglich des netzseitigen Stromrichters bis auf Null zulässig. Auch bei stark unsymmetrischen Netzspannungen (beispielsweise einphasiger Spannungseinbruch) kann durch Anpassung der Taktung des selbstgeführten Stromrichters der Weiterbetrieb mit symmetrischen Strömen erreicht werden. Der Netzstromrichter kann mit vorgebbarem Leistungsfaktor  $\cos \varphi$ , beispielsweise mit  $\cos \varphi = 1$  oder übererregt, betrieben werden. Bei einem Schlupf nahe Null und hoher Wellenleistung kann der maschinenseitige Stromrichter von seiner hohen, gleichstromähnlichen Belastung entlastet werden, indem der netzseitige Stromrichter im Rahmen seiner zulässigen Strombelastung vornehmlich als Blindleistungsgenerator eingesetzt wird. Dies reduziert die "Erregerströme" des maschinenseitigen Stromrichters. Über die Hochsetzsteller-Funktion des netzseitigen Stromrichters wird die Zwischenkreisspannung angehoben. Eine höhere Speisespannung für die Läuferwicklung führt zur Beschleunigung des Hochlaufvorgangs, da im oberen Drehzahlbereich die Drehstrom-Asynchronmaschine mit Kippschlupf betrieben wird. Ohne spannungsmäßiger Überdimensionierung des Umrichter-Transformators kann der läuferspannungsmäßig zulässige Drehzahlbereich gefahren werden.

Der Betrieb des netzseitigen Stromrichters mit einem Leistungsfaktor  $\cos \varphi = 1$  bzw. "übererregt" reduziert die Ströme in der Drehstrom-Asynchronmaschine. Hierdurch werden die Kupferverluste der Drehstrom-Asynchronmaschine verringert. Diese Drehstrom-Asynchronmaschine kann ebenso wie der Umrichter-Transformator auf geringere Typenleistung ausgelegt werden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade ist jedem Schalter des Läuferkreis-Kurzschließers ein Widerstand elektrisch in Reihe geschaltet. Dadurch wird die Arbeitskennlinie beim Ansprechen des Läuferkreis-Kurzschließers weicher, so daß höhere Schlupfwerte geringere Stoßmomente ergeben. Transiente Ströme, die wegen deren Größe Spitzenstromabschaltung maschinenseitigen Stromrichter bewirken und vom Läuferkreis-Kurzschließer übernommen werden müssen, klingen beschleunigt ab. Der maschinenseitige Stromrichter kann in kürzerer Zeit die Taktung und den geregelten Betrieb wieder aufnehmen.

Den Unteransprüchen 3 bis 7 sind weitere vorteilhafte Ausführungsformen des Spannungszwischenkreis-Umrichters der über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade zu entnehmen.

Zur näheren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in der mehrere Ausführungsformen der erfindungsgemäßen über- und untersynchronen Stromrichtererkaskade schematisch veranschaulicht sind.

**Fig. 1** zeigt eine Prinzipschaltung einer bekannten über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade, in der

**Fig. 2** ist ein Schaltbild einer bekannten über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade gemäß der Prinzipschaltung nach **Fig. 1** dargestellt, die

**Fig. 3** zeigt eine Prinzipschaltung einer erfindungsgemäßen über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade und die

**Fig. 4** bis **6** zeigen jeweils eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade.

Die **Fig. 3** zeigt eine Prinzipschaltung einer vorteilhaften Ausführungsform einer über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade gemäß der Erfindung. Diese Prinzipschaltung unterscheidet sich von der gemäß **Fig. 1** dadurch, daß für den netzseitigen Stromrichter **22** des Spannungszwischenkreis-Umrichters **6** ein selbstgeführter Pulswechselrichter, insbesondere ein GTO-Pulswechselrichter, vorgesehen ist. Ausgangsseitig ist jedem Schalter **46** des Läuferkreis-Kurzschließers **10** ein Widerstand **48** elektrisch in Reihe geschaltet. Durch die Verwendung des selbstgeführten Pulswechselrichters als netzseitigen Stromrichter **22** entfallen im Spannungszwischenkreis die Drosseln **34**.

Durch die Verwendung des selbstgeführten Pulswechselrichters als netzseitigen Stromrichter **22** des Spannungszwischenkreis-Umrichters **6** verursachen Netzspannungseinbrüche kein Wechselrichterkippen mehr. Der netzseitige Stromrichter **22** läßt Spannungseinbrüche bis auf Null zu. Ein weiterer Vorteil des selbstgeführten Pulswechselrichters ist, daß bei stark unsymmetrischen Netzspannungen, beispielsweise ein einphasiger Spannungseinbruch, der Weiterbetrieb mit symmetrischen Strömen möglich ist. Außerdem ergibt die Verwendung eines selbstgeführten Pulswechselrichters als netzseitigen Stromrichter **22** eine hohe Dynamik für Regelvorgänge, wobei bei Umkehr der Leistungsrichtung das Umsteuern des Stromes nicht erforderlich ist.

Der Läuferkreis-Kurzschließer **10** wird gezündet, wenn im Falle eines starken Netzspannungseinbruches der Läuferstrom die Grenzen der Stromrichterventile des maschinenseitigen Stromrichters **24** überschreitet. In diesem Fall werden die Stromrichterventile des maschinenseitigen Stromrichters **24** abgeschaltet und der Läuferstrom kommutiert auf den Läuferkreis-Kurzschließer **10**. Die Widerstände **48** dieses Läuferkreis-Kurzschließers **10** dürfen bei der Ausführungsform der über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade gemäß **Fig. 1** bzw. **2** nicht vorhanden sein, da der Spannungszwischenkreis-Umrichter **6** mit dem netzseitigen Stromrichter **22** im gekippten Zustand einen parallelen nahezu widerstandslosen Pfad bildet. Das Kippen des im Wechselrichterbetrieb arbeitenden netzseitigen Stromrichters **22** gemäß der **Fig. 1** bzw. **2** wird bei einem Netzspannungseinbruch mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten. Netzspannungseinbrüche verursachen extrem hohe Läuferstrom-Spitzenwerte, die üblicherweise nicht durch einen selbstgeführten Standard-Pulswechselrichter beherrscht werden können. Beispielsweise treten bei einem rotierenden 35 MW Netzkupplungsumformer für frequenzelastische 16 2/3 Hz Bahnnetzversorgung (bei 150% der Nennleistung und 1% Schlupf) Läuferstrom-Spitzenwerte von etwa 8 kA bei einem Spannungseinbruch von 50% auf. Nach beispielsweise 220 ms kehrt die Netzspannung auf 100% zurück, wodurch ein weiterer Übergang für die Drehstrom-Asynchronmaschine **2** eingeleitet wird, der nun mehr als 10 kA Läuferstrom-Spitzenwert führt.

Die Hauptaufgabe des netzseitigen Stromrichters **22** ist es, die Zwischenkreisspannung auf einen vorbestimmten Sollwert zu halten. Damit wird Wirkleistung gesteuert. Gegenüber dem netzgeführten Umkehrstromrichter als netzseitigem Stromrichter **22** kann der selbstgeführte Pulswechsel-

richter als netzseitiger Stromrichter **22** zusätzlich Grundschwingungsblindleistung an der Netzanschlaltung vorgeben. Dieser selbstgeführte Pulswechselrichter kann auf Blindstrom Null am Umrichter-Transformator **8** geregelt werden. Wird die volle Stromtragfähigkeit des selbstgeführten Pulswechselrichters ausgenutzt, kann auch ein bestimmter Betrag von Blindstrom erzeugt werden, wodurch sich die Kupferverluste der Drehstrom-Asynchronmaschine **2** wesentlich verringern. Bei Betrieb des netzseitigen Stromrichters **22** mit einem Leistungsfaktor  $\cos \varphi = 1$  kann die erforderliche Typen-(Bau-)Leistung des Umrichter-Transformators **8** im Vergleich zur Schaltung gemäß **Fig. 1** bzw. **2** um etwa 60% verringert werden.

Durch die Verwendung von den Widerständen **48** im Läuferkreis-Kurzschließer **10**, wobei der Wert eines Widerstandes **48** beispielsweise gleich dem 8-fachen Wert des Läuferwiderstandes ist, führt zu einer sehr viel kürzeren Zeitkonstante für die Abnahme der Läuferströme. Wenn die Netzspannung auf 100% zurückkehrt, sind Läufer- und Ständerströme bereits im Wert gefallen, so daß die Abschaltung des Läuferkreis-Kurzschließers **10** und der stromgeregelte Bereich des maschinenseitigen Stromrichters **24** früher erfolgen kann. Bei der erfindungsgemäßen über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade ist die Blindlast gegenüber der bekannten über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade nur etwa halb so groß.

In der **Fig. 4** ist eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade näher dargestellt. Diese Ausführungsform weist nur einen selbstgeführten Pulswechselrichter, insbesondere einen GTO-Pulswechselrichter, als netzseitigen Stromrichter **22** auf. Als maschinenseitiger Stromrichter **24** sind drei selbstgeführte Pulswechselrichter, insbesondere GTO-Pulswechselrichter, vorgesehen, die elektrisch parallel geschaltet sind. Diese Ausführungsform wird bei niedrigen Schlupfwerten verwendet.

In der **Fig. 5** ist eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade dargestellt. Diese Ausführungsform weist gegenüber der Ausführungsform gemäß **Fig. 4** zwei selbstgeführte Pulswechselrichter als netzseitigen Stromrichter **22** auf. Aufgrund dieser beiden selbstgeführten Pulswechselrichter als netzseitigen Stromrichter **22** wird ein Umrichter-Transformator **8** mit zwei Sekundärwicklungen **38** und **50** benötigt. Von diesen beiden Sekundärwicklungen **38** und **50** ist einer in Dreieck und der andere in Stern geschaltet. Die beiden selbstgeführten Pulswechselrichter sind gleichspannungsseitig elektrisch parallel geschaltet und wechsellspannungsseitig mit einer Sekundärwicklung **38** bzw. **50** verknüpft. Diese Ausführungsform wird verwendet, wenn sehr hohe Ströme vom netzseitigen Stromrichter **22** geführt werden sollen, wobei diese Ströme sich aus Wirk- und/oder Blindströmen zusammensetzen. Dadurch wird eine Blindleistungsstützung durch den netzseitigen Stromrichter **22** möglich, wodurch die Typen-(Bau-)Leistung des Umrichter-Transformators **8** wesentlich verringert werden kann und sich die Kupferverluste der Drehstrom-Asynchronmaschine **2** im überregerten Betrieb vermindern. Diese Ausführungsform ermöglicht einen Notbetrieb mit reduzierter Leistung bei Ausfall eines selbstgeführten Pulswechselrichters beim netzseitigen und/oder beim maschinenseitigen Stromrichter **22, 24**.

Bei einer dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen über- und unterschynchronen Stromrichter-kaskade gemäß **Fig. 6** ist anstelle des Umrichter-Transformators **8** mit zwei Sekundärwicklungen **38** und **50** ein Umrichter-Transformator **8** mit offenen Wicklungen **52** vorgesehen. Dadurch hat sich der Transformator-Aufwand minimiert.

## Patentansprüche

1. Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade mit einer Drehstrom-Asynchronmaschine (2) mit Schleifringläufer (4), einem Spannungszwischenkreis-Umrichter (6) und einem Umrichter-Transformator (8), wobei dieser Spannungszwischenkreis-Umrichter (6) als maschinenseitigen Stromrichter (24) einen selbstgeführten, wechsellspannungsseitig mit dem Schleifringläufer (4) verknüpfenden Pulswechselrichter und als netzseitigen Stromrichter (22) einen netzgeführten, wechsellspannungsseitig mittels des Umrichter-Transformators (8) mit einem den Ständer (12) der Asynchronmaschine (2) speisenden Netzes (18) verbundenen Umkehrstromrichter aufweist und wobei der netz- und maschinenseitige Stromrichter (22, 24) gleichspannungsseitig mittels eines Zwischenkreis-Kondensators (26) miteinander gekoppelt sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß anstelle des netzgeführten Umkehrstromrichters als netzseitigen Stromrichter (22) ein selbstgeführter Pulswechselrichter vorgesehen ist. 5 10
2. Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade nach Anspruch 1, mit einem Läuferkreis-Kurzschließer (10), der zwischen dem Schleifringläufer (4) und dem maschinenseitigen Stromrichter (24) geschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß jedem Schalter (46) dieses Läuferkreis-Kurzschließers (10) ein Widerstand (48) elektrisch in Reihe geschaltet ist. 15 20
3. Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere selbstgeführte Pulswechselrichter als maschinenseitigen Stromrichter (24) vorgesehen sind, die elektrisch parallel geschaltet sind. 25 30
4. Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade nach einem der vorigen Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei selbstgeführte Pulswechselrichter als netzseitigen Stromrichter (22) vorgesehen sind, die gleichspannungsseitig elektrisch parallel geschaltet sind. 35 40
5. Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade nach Anspruch 1 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Umrichter-Transformator (8) ein Transformator mit wenigstens zwei Sekundärwicklungen (38, 50) vorgesehen ist. 45 50
6. Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade nach Anspruch 1 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Umrichter-Transformator (8) ein Transformator mit offenen Wicklungen (52) vorgesehen ist. 55 60
7. Über- und untersynchrone Stromrichter-kaskade nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der netz- und maschinenseitige selbstgeführte Stromrichter (22, 24) abschaltbare Thyristoren aufweist. 65

---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

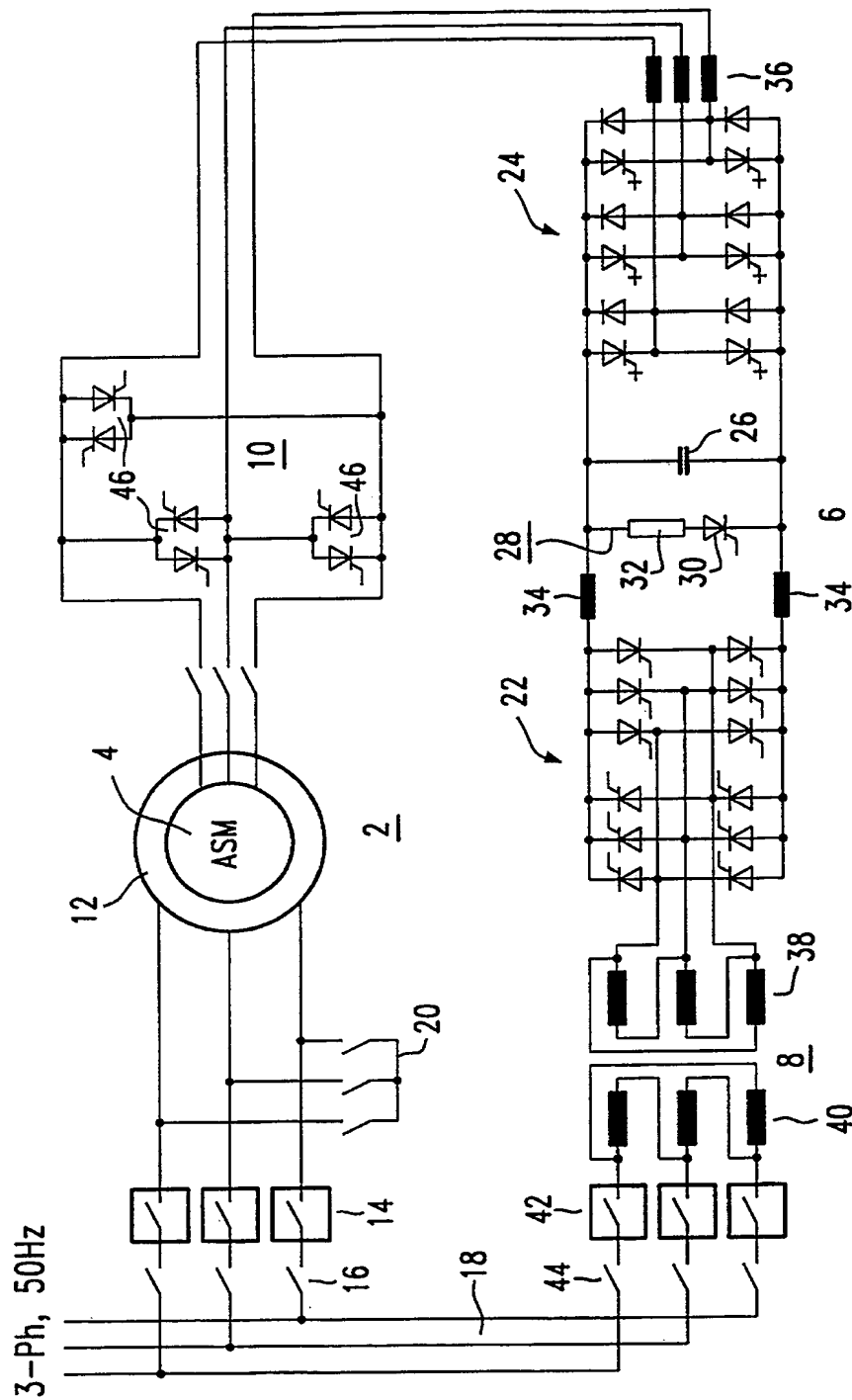
---

55

60

65

- Leerseite -



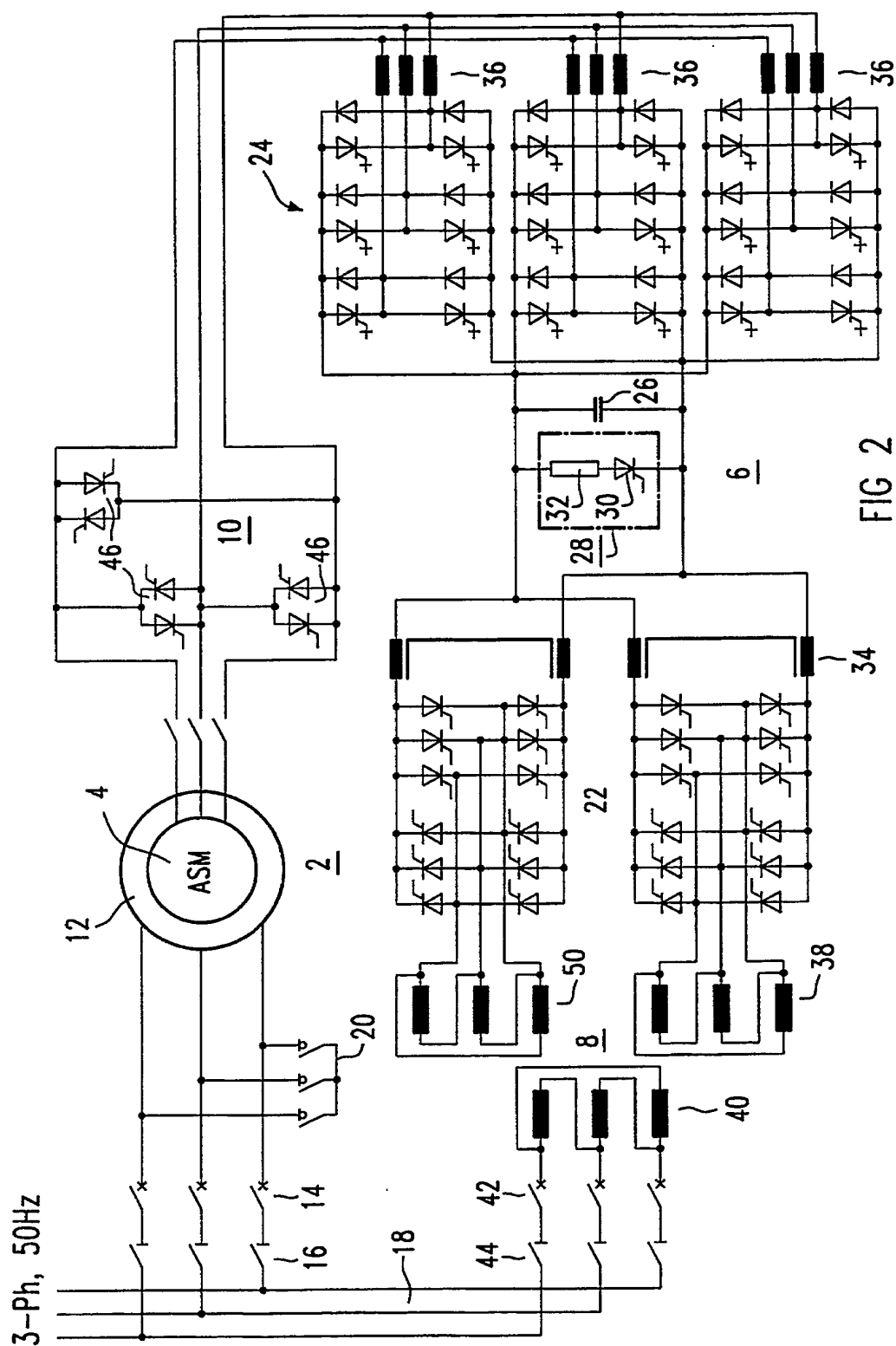
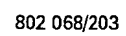


FIG 2





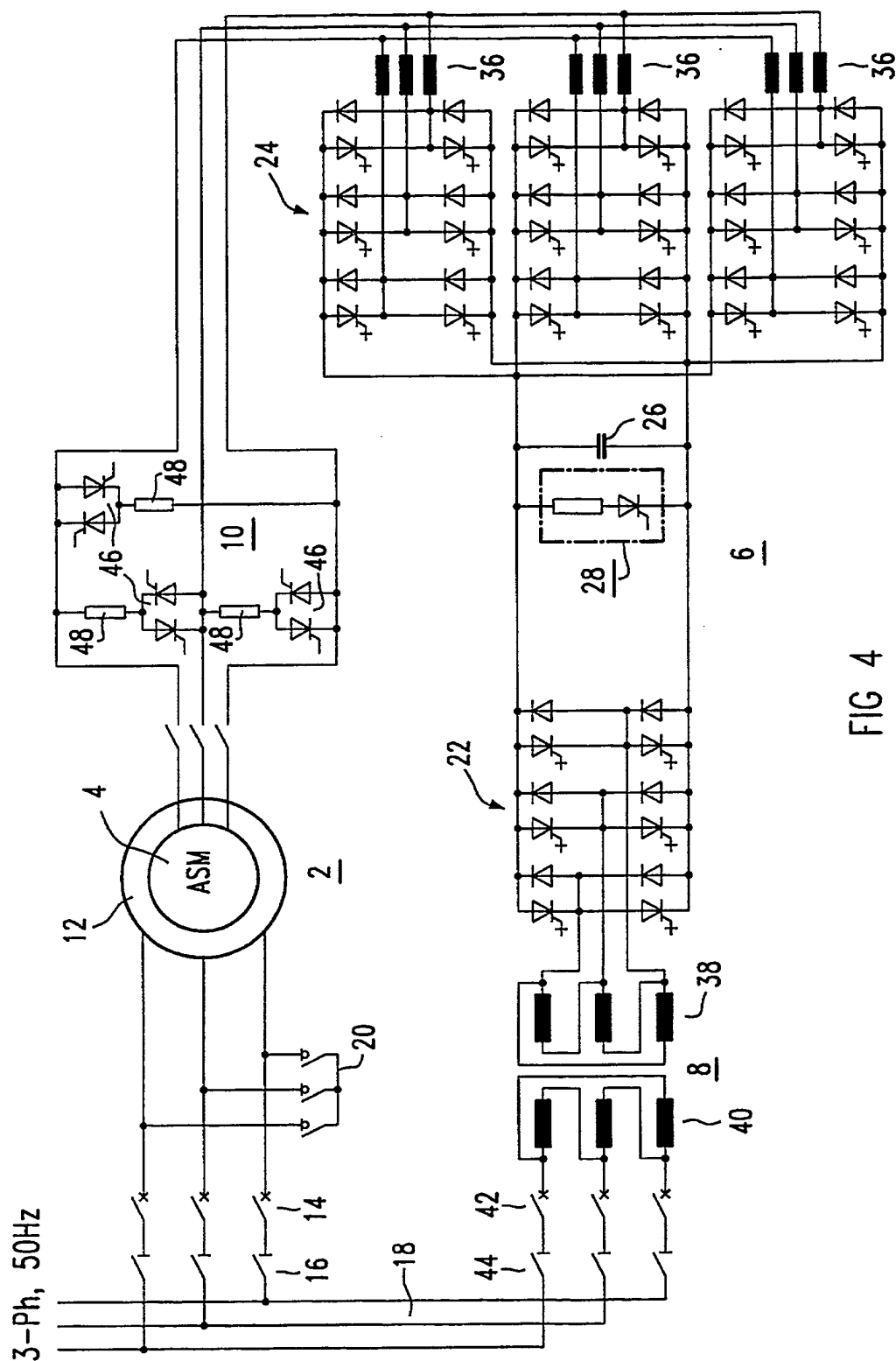
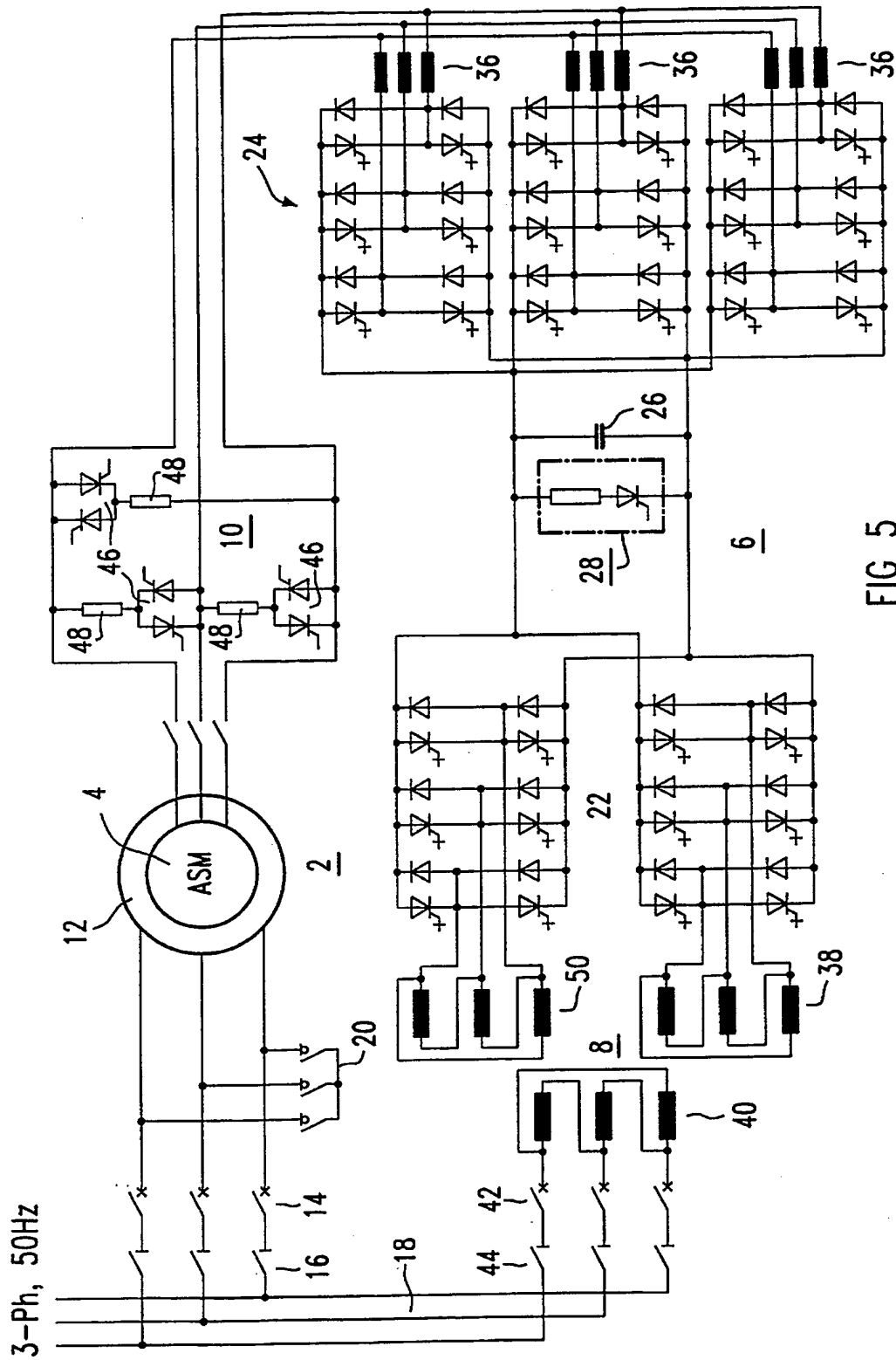


FIG 4



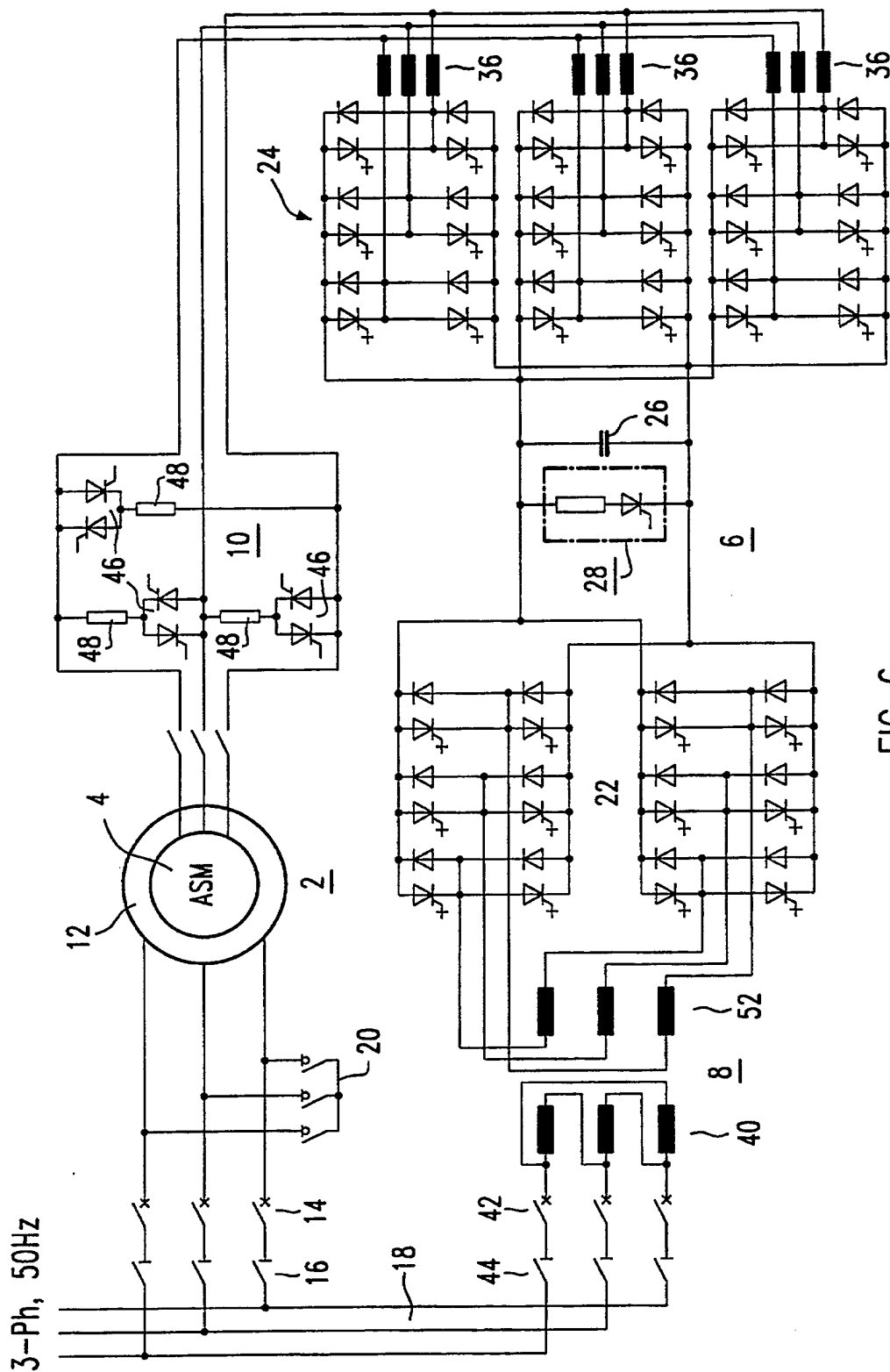


FIG 6